

J A X A 航空マガジン

# FLIGHT PATH

新たな空へ 夢をかたちに  
*Shaping Dreams for Future Skies*

JAXA

2014  
AUTUMN

No.6

航空本部  
[www.aero.jaxa.jp](http://www.aero.jaxa.jp)

特集

無人  
航空機

JAXA研究者が語る  
“無人航空機が拓く未来”

「複数MAV協調運用による複雑任務対応能力」の研究

複数の小型無人航空機が協調して一つの任務を行う



# FLIGHT PATH

2014 AUTUMN No.6

近年、注目を集めている人が乗らない  
航空機——無人航空機。  
今号はJAXAが研究開発をすすめる  
「無人航空機」について紹介します。

## CONTENTS

P.3-7

### 特集 無人航空機

JAXA研究者が語る“無人航空機が拓く未来”

P.8-9

「複数MAV協調運用による複雑任務対応能力」の研究  
複数の小型無人航空機が協調して一つの任務を行う

P.10-11

東京大学・企業・JAXAが航空人材育成で協力

東京大学航空宇宙工学科の教育プログラムを調布航空宇宙センターで開催  
インタビュー 東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 鈴木真二教授  
東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 李家賢一教授

P.12

物体の“ひずみ”を1本の光ファイバーで検知  
光ファイバーセンサーの研究

P.13

ベルリンでIFARメンバーとミーティング  
～JAXA航空本部の国際連携最新レポート～

P.14

研究者リレーインタビュー

第2回 「子どもたちの時代には、2時間でアメリカに行ける世界にしたい」  
推進システム研究グループ 極超音速技術セクション 主任研究員 小島孝之

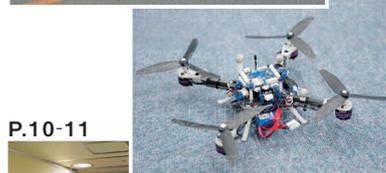
P.15

航空技術図鑑 [2] 「電気信号で航空機を操縦する“フライ・バイ・ワイヤ”とは」

P.16

[Flight Path Topics]

- ・PIV計測データを活用したデバイス配置最適化技術開発のための風洞試験を実施
- ・成田空港周辺で騒音計測を実施
- ・D-SEND#2の2回目試験、実施できず



P.10-11



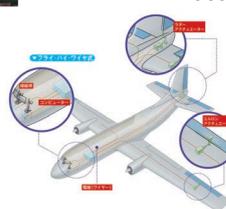
P.13



P.14



P.15



#### 表紙写真

日本原子力研究開発機構と共同で研究開発を進めている放射線モニタリング無人機システム(UARMs)の飛行試験の様子です。組み込まれたプログラムに従って決められたルートを自動で飛行し、広い範囲の放射線量を計測することができます。



Feature  
特集 ▶▶ 無人航空機

座談会  
●●● JAXA研究者が語る  
“無人航空機が拓く未来”

人が乗らない航空機——無人航空機は、農薬散布や空撮などさまざまな用途で使用されています。また近年は、防犯や監視、宅配などの新しいニーズやアイデアも次々と出てきています。そんな無人航空機の現状や課題、JAXAが目指す無人航空機について、JAXA航空本部で無人航空機の研究に携わる皆さんに語っていただきました。

■無人機とは何なのか？

最近、「無人機」という言葉をよく耳にしますが、そもそも無人機とはどんなものなのでしょう？

石川 無人機とは、操縦者が乗っていない状態で遠隔あるいは自動で操縦されて飛ぶ航空機のこと、人を乗せないまま仕事を行えることが大きな特徴の一つです。

久保 「無人機」は無人の乗り物全般を指し、人が搭乗していない宇宙探査機や人工衛星も無人機のカテゴリに含まれる場合もあります。しかし、「無人機」と言うことや「無人航空機」を表すことが多いと思います。無人航空機は英語で「Unmanned Aerial Vehicle」あるいは「Unmanned Air Vehicle」などと呼ばれ、頭文字を取って「UAV」と表記されます。また、近年では、航空機そのものだけでなく、地上設備なども含めたシステム全体を指す「Unmanned Aircraft System」(UAS)や遠隔

● 出席者 (聞き手：編集部 水野)

運航システム・安全技術研究グループ  
グループ長 石川和敏



運航システム・安全技術研究グループ  
無人機安全技術セクション  
セクションリーダー 河野 敬

運航システム・安全技術研究グループ  
無人機システム技術セクション  
研究員 久保大輔



航空技術実証研究開発室  
UARMSチーム  
チームリーダー 村岡浩治

# 特集 ▶▶▶ 無人航空機

操縦という点を強調した「Remotely Piloted Aircraft System」(RPAS)という言葉も使われています。米国では、メディアを中心に「ドローン(Drone)」と呼ばれることも多いようです。

**河野** 無人航空機には小ささまざまな種類がありますが、大きく二つに分類する考え方にまとまりつつあります。一つは「大型」の部類で、有人航空機と同じような性能や機体規模を持っていて、有人航空機と一緒に飛べるような無人機。もう一つは「小型」で模型飛行機から派生したような、有人航空機と同じような装備を積むことができないけど安く簡単に製作できる航空機です。

**無人航空機を飛ばすためにはどのような技術が必要で、その技術を実現させるためにはどのような課題があるとお考えでしょうか。**

**石川** 無人航空機のメリットは、人を乗せなくても任務を行うことができることで、一般的には、Dangerous(危険)、Dirty(汚い)、Dull(怠慢、退屈な)という、いわゆる“3D”と呼ばれる仕事で有効に使えと言われてます。例えば同じ場所やルートを長時間観測したり、台風のような有人では危険な場所を飛んで観測したりという仕事が考えられます。無人航空機に与えられる任務はこのようにさまざまで、無人航空機にはそれぞれの任務を達成するための技術が必要になります。

無人航空機のもう一つのメリットは、人間が乗るスペースが不要なので、その分機体を



検討されている72時間滞空し地上の観測を行う滞空型無人機のイメージ

小型化・軽量化できることが挙げられます。

**河野** 無人航空機は、パイロットが機上に乗っていないので、どうやってパイロットの代替を行うかという技術が必要になります。すなわち、無人航空機には有人航空機でパイロットが行っていた「観察」「判断」「操縦」の3段階に相当する技術が必要になります。例えば、GPSを使った位置測定や速度を計測し「観察」を行うためのセンサー、そのセンサーからの情報を元に「判断」するための飛行制御用コンピューター、判断結果に沿って機体を制御し「操縦」するためのアクチュエーターなどの技術です。

もう一つ、有人航空機にはなかった要素としては、無人航空機にはセンサーで計測した機体や周囲の状況を地上に送ったり、逆に地上から指令を送ったりするための通信システムが必要になります。

**村岡** さらに、安全に無人航空機を飛

ばすようにするためには、何かトラブルが発生した際に着陸させる、あるいは飛行を中断させるという技術や、致命的なトラブルを発生させないためにどのような冗長性を持たせるのかといった技術がキーポイントになると思います。

**パイロットの代替技術という話がありましたが、無人航空機が自ら考えて飛行する自律飛行技術についてはどのような状況なのでしょうか。**

**村岡** 広範囲の放射線計測を目的として、日本原子力研究開発機構(JAEA)と共同で研究開発を進めている「放射線モニタリング無人機システム(UARMS)」では、あらかじめ指示しておいた飛行ルートに沿って飛行させています。我々はこれをプログラム飛行と呼んでいます。

UARMSには採用されていませんが、どこをどのように飛行するのかを航空機自らが考



運航システム・安全技術研究グループ グループ長

**石川和敏**



え判断しながら飛行するといった技術の研究も進められています。

## ■JAXAが研究開発する無人航空機

### JAXA航空本部ではどのような無人航空機の研究開発に取り組んでいるのでしょうか。

石川 大きく二つに分けられます。一つは航空技術の実験でツールとして無人航空機を利用する研究。例えばD-SENDプロジェクトの超音速試験機などが挙げられます。

もう一つは、無人航空機自体を社会のインフラとして役立てるための研究開発です。災害発生時に地方自治体の職員が自分たちで無人航空機を飛ばして、災害の規模や被害状況などを観測できる災害監視無人機システムを2012年まで研究開発していました。また、災害時、たとえばトンネル事故や地震などで内部が崩壊しているような建造物の中を飛行し、生存者を探索したり火災や有毒ガスの有

無を確認したりといった任務を、MAV (Micro Aerial Vehicle) と呼ばれる小型無人航空機を複数機連携させて行うシステムの研究も行っています。(詳しくは、8ページからの記事をご覧ください)

あとは、先ほど話題に挙げた「放射線モニタリング無人機システム(UARMS)」があります。

村岡 JAXAでは、以前に21時間連続飛行ができる固定翼の無人航空機を研究していましたので、その技術をベースに放射線モニ

タリングに最適な無人航空機を作ることができるだろうと考え、福島の子力発電所事故の後にJAEAと共同でUARMSの研究開発が始まりました。現在は飛行実験を進めている段階で、2014年度中の完成を目指しています。完成すれば、20~40キロメートルの長い航続飛行の範囲で、放射線モニタリングが行えるようになります。

空中からの放射線モニタリングは、現在有人のヘリコプターや無人ヘリコプターが用いられています。有人ヘリコプターの場合、コストが高く、また航空法の制限があって低空までは降りられません。一方、無人ヘリコプターはゆっくり低空を飛ぶことができ詳細な計測ができますが、長時間広い範囲を飛ぶといったことが得意ではありません。UARMSならば、低空を高速で飛ぶことができるので、有人ヘリコプターと無人ヘリコプターの観測を補完することができます。

石川 まだ計画段階ですが、72時間連続して高高度を滞空できる滞空型無人機システムも検討しています。72時間滞空できる無人航空機を交代で飛ばすことで、365日24時間上空からの観測ができるという構想で、日本の広い領海を監視したり、災害地で刻々と変化する被災状況を連続的に監視して情報を提供したりといったことを考えています。

## ■無人航空機に関する法整備の課題とは

無人航空機は、法律の中ではどのように扱われているのでしょうか。

河野 航空機に関しては「航空法」という法律がありますが、その中には航空機を人が乗って輸送に使う機器(航空法、第二条)と定義されていて、無人の航空機は扱っていません。例外として、すでに存在する有人航空機からパイ



放射線モニタリング無人機システム(UARMS)実験の様子

# 特集 ▶▶ 無人航空機

ロットを降ろすことができる改造を加えた航空機を「無操縦者航空機」として規定(航空法、第八十七条)しているだけで、最初から人が乗らないことを前提として作られた機体については航空機として見ていません。したがって、現在の航空法の範疇では、無人航空機は航空機ではないのです。

**石川** 航空法に加え、「航空機製造事業法」という法律があります。全重量が150キログラムを超える航空機を製造する際には、ライセンスを取得して必要な設備を揃えなければならないとされています。ですから、そのような大型の無人航空機には、有人航空機と同じレベルの信頼性や安全性、耐空性などが求められることになると思います。

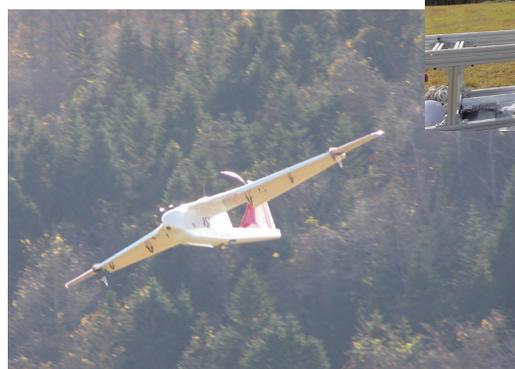
**アメリカなど海外では法整備の動きがあると聞きますが、日本はいかがでしょうか。**

**河野** 日本では、農薬散布用無人ヘリコプターが多数運用されていて、実は無人機大国だと言われるのですが、現状では一般社団法人農林水産航空協会や業界団体の日本産業用無人航空機協会が決めた自主的な運用ルールを運用者が守っている状況です。

JAXAでは厳密な安全基準を作った上で、無人航空機による試験を行っています。日本



ヤマハ発動機の産業用無人ヘリコプター「FAZER」。ヤマハは産業用無人ヘリコプターの分野で長い歴史と実績を持っている。  
画像提供：ヤマハ発動機株式会社



災害現場上空をカメラで撮影することを想定した災害監視無人機システムの飛行実験(左)。トラックの荷台に設置されたカタパルトから離陸する災害監視無人機(上)。

での法整備を促すため、国土交通省などに対し、試験での実績を基に提案しているところ です。

**石川** 法整備とは少し話が違いますが、今は無人航空機で実験をする手続きも複雑です。航空局や空港への許可申請はもちろんのこと、広い地域を飛行する場合には地方自治体や周辺住民へのお知らせも必要ですし、海上を飛行する場合には漁業関係者とも話をしな

ければなりません。あとは消防署や警察署へも事前に説明が必要です。もちろん実験段階ではこうした手続きが必要ですが、実用化されて日常的に飛行させるときには、手続き方法の検討も必要になってくるでしょう。

## ■広がる無人航空機の活用範囲

**無人航空機は現在どのように使われていて、今後どのような目的で使われる可能性があるのでしょうか。**



運航システム・安全技術研究グループ  
無人機安全技術セクション セクションリーダー

**河野 敬**



**河野** ヨーロッパでは、複数のプロペラを搭載したマルチコプターと呼ばれる小型の無人航空機を使った、さまざまなサービスを提供する企業がここ数年で急増しています。一番多いサービスは空撮だと思いますが、その他に上空から農地を赤外線カメラで観測して農作物の状態を観測するとか、空中で測量を行い3Dの地図を作製するといったものがあります。

アメリカの場合、ヨーロッパと比べると商用利用が十分に開放されていないので、公的機関が比較的大型の無人航空機を使って、国境の警備や山林の火災監視などに利用しています。

**石川** 日本の場合は、先ほども話が出ましたが、農業散布用無人ヘリコプターが非常に発展しています。農地と住宅地が近い、作付面積が比較的小さいといった日本の実情に合った無人航空機の利用だと思います。

**久保** 日本に限った話ではありませんが、将来の無人航空機の利用方法として期待されているのが、橋梁やトンネルなどインフラ点検の分野です。

これまでは義務化されていなかったインフラの定期点検も今後は必要になると言われていますが、足場を組んで点検すると莫大なコストが掛かってしまいます。無人航空機ならば、足場が無くても飛んで行って点検することができますと期待をされています。

**将来、旅客機のような大きな航空機も無人になるのでしょうか。**

**石川** 現在、自動車でも無人で走行する車両(UGV)が研究されており、土木・建築分野では無人作業車、農業分野では無人トラクターも現実に近づきつつあります。技術的には遠い将来、無人操縦の旅客機が空を飛ぶような

世界もあり得るでしょう。しかし、無人の車両もそうですが、旅客機も社会的なルールや倫理的な問題などクリアすべき課題は非常に多いと思います。



小型無人航空機(MAV)。複数機で協調・連携させることによって複雑任務を可能にすることを目指している。

近年、無人航空機をさまざまなサービスに活用するというニュースを耳にする機会が増えています。無人航空機は応用範囲も広く、さまざまな活用方法が考えられ、今後ますます私たちにとって身近な技術となっていくことでしょう。

しかし、無人航空機の活用拡大のためには、その技術や法整備などいくつかの課題が残されています。無人航空機の技術で、安全で安心な社会の実現に貢献したい。JAXA航空本部のチャレンジは続きます。



「複数MAV協調運用による複雑任務対応能力」の研究——

# 複数の小型無人航空機が協調して一つの任務を行う

近年、小型の無人航空機の性能が高くなり、産業分野においても活躍の場を広げつつあります。

JAXAでは、そのような小型無人航空機が複数で連携協力しながら、災害時に倒壊したトンネルや建築物など屋内で救助支援などを行うことができるシステムの研究に取り組んでいます。

## 複数のMAVが協力してさまざまな任務を果たすシステム

MAVとは、Micro Aerial Vehicleの頭文字をとったもので、大きくても数十cm程度の小型・超小型の無人航空機を指す言葉です。特に、本研究でもプラットフォームとして使用しているようなマルチローター形式の機体は、複雑な機構を持たない電動プロペラと制御システムを組み合わせただけのシステムであり、簡易タイプはホビー向けに市販されているほか、高度な機能を持ったタイプは、空撮や災害時の被害調査などへの利用が広がりつつあります。

JAXA航空本部が取り組んでいる「複数MAV協調運用による複雑任務対応能力」の研究は、GPS電波が届かない屋内で、複数のMAVを連携・協調させることで、単独では困難な任務に対応できるようなシステムの実現を目指すものです。研究を担当する運航システム・安全技術研究グループの久保大輔研究員は「屋内での火災やトンネルの崩落事故のような、レスキューの方がいきなり現場に入っていくことができないような災害への対応があります」と一例を挙げます。二次災害の危険があって人が入れない災害現場に、小型の飛行ロボットが先行して内部の状況を確認できれば、救助を速やかに、かつ安全に行うこ

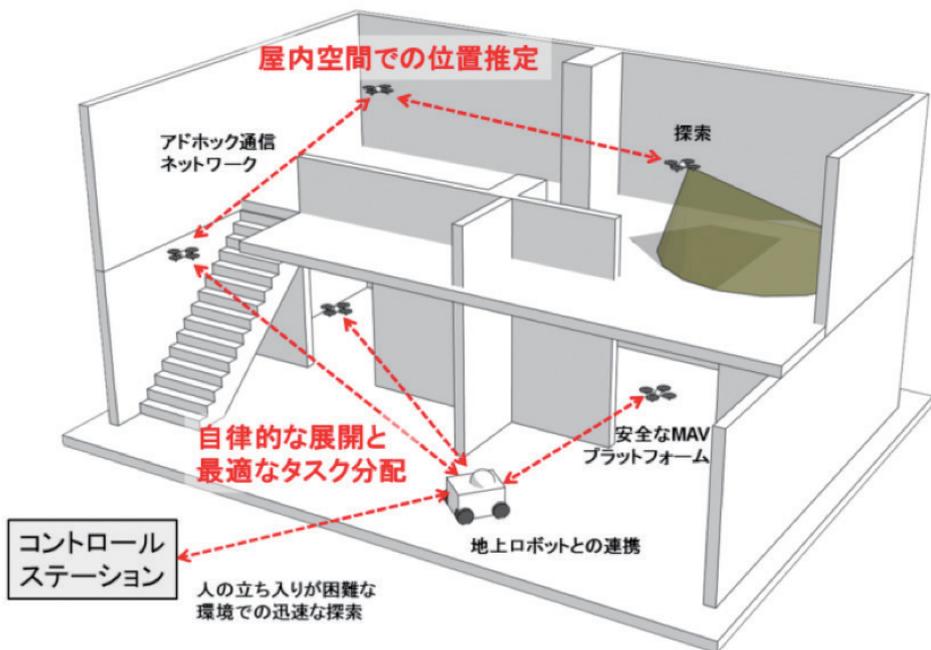
とができるようになります。

このような任務を、複数のMAVを使って行うメリットは何でしょうか。災害現場では、壁や天井が崩れて電波が届かない場所ができることも考えられます。複数のMAVを使って電波を中継すれば、電波の届かない範囲をなくし隅々まで探索ができるようになります。また、災害現場ですから、突発的な事故が発生してMAVが損傷する可能性もあります。そうした場合でもMAVが複数あれば、脱落したMAVの任務を別のMAVが肩代わりしたりサポートしたりできます。

さらに、複数のMAVが各々別々の任務を行うことで、より効率的に任務を達成できます。「人でも、建物の中で探し物をする場合、一人で探すのは大変だし時間もかかります。そこを一人ではなく複数で同時に探せば、また無線などを使って上手に連携ができれば、一人のときよりもはるかに早く探し出せるのと同じことです。」(久保研究員)。

## 屋内で安定して飛行させる難しさ

この研究において必要となる技術の一つが、機体を屋内で安定して飛行させる技術です。屋内であれば、屋外のように風などの影響を受けないため、飛行させることは難しくないと、思うかもしれません。しかし、狭い空間ではMAVが自ら生み出す気流が壁に反射して機体を不安定にしたり、他のMAVの飛行に影響を与えたりします。



運用構想図。複数のMAVがお互いに通信情報を交換して任務を達成する。電波の届かない場所でも、MAVが中継することで進入できる。また、脱落する機体があっても別のMAVがそれを補うことも可能だ。



複数のMAVが連携しながら飛行する様子

また、屋外であればGPSによって容易に自分の絶対位置を把握できますが、屋内ではGPS信号を取得することができないため自分の位置がわかりません。自分がどこにいるかという情報は、安全に飛行させるために非常に重要です。建物の図面をあらかじめプログラムに組み込むことができれば、屋内でも自分の位置を把握することが比較的容易になりますが、屋内の状況が変化している可能性が高い災害時にはそれだけでは十分ではありません。

MAV自身が周囲の状況を判断する手法として、現在ライダーと呼ばれるレーザー光を利用したセンサーを使う方法と画像を使った

方法を検討しています。ライダーによる計測方法では、壁や障害物からの距離を測定して周囲の地図を作製して自分の位置を把握するところまで研究は進んでいる」と久保研究員は言います。ただし、搭載を検討しているライダーで計測できるのは平面内(二次元)の情報だけなので、屋内全体の様子を知るためには、MAVの姿勢(レーザーの向き)や高度を変えて計測しなければなりません。また、ライダー自体の重量が比較的重いため、機体のサイズが大きくなってしまいう課題もあります。

## 複数機をどのように協調させるか?

もう一つ重要となるのは、複数のMAVを運用する際に、それぞれのMAVに対して最適な任務を割り当て、効率的に運用する計画を立てる作業をコンピューターに行わせる技術、すなわち“タスク生成とプランニング”です。例えば、ある目標に対してどのMAVがより近い場所にいるのか、より早く到着するMAVはどれかを判断し、該当するMAVに対して指示を出す、というような一連の判断と指示を行うことです。1機、2機であれば、経験を積んだオペレーターならば、その都度状況に合わせて判断し操縦することができますが、数が多くなるとどんなに経験を積んだオペレーターでも操縦は難しくなります。

誰もが使いやすいシステムにするため、「オペレーターは抽象的な指示を与えるだけで、あとは全体のシステムが勝手に最適かつ効率のいい仕事のやり方を実現してくれるシステムを目指しています」(久保研究員)。

現在はまだ基礎研究段階ですが、久保研究員は「2015年度には、複数機で何らかの実証試験を行いたい」と意気込みを語ります。しかし、それまでに越えなくてはならない、技術的な課題もまだまだ多いのです。

無人航空機の技術はとても応用範囲の広い技術です。特にMAVのような小型の無人機が屋内で安定した飛行を実現できるようになれば、現在の研究で想定しているような災害時の支援だけでなく、私たちの日々の生活に役立つMAVが登場する日が来るかもしれません。



## JAXA 航空本部へのメッセージ

# 東京大学・企業・JAXAが 航空人材育成で協力

～東京大学航空宇宙工学科の教育プログラムを  
調布航空宇宙センターで開催～

次世代を担う航空人材を育成すること。それは我が国の航空産業発展のため、大学、学会、航空関連企業、そしてJAXA共通の課題です。東京大学がこの8月に開講した「航空技術イノベーション概論」は、通常の大学キャンパスでの講義とは異なり、大学の先生による基礎理論に加え、企業は製品開発の立場から、JAXAは研究開発の立場から講義することで、航空技術をさまざまな視点で俯瞰して学べる教育プログラムです。JAXA航空本部も航空人材育成支援の一環として協力しました。この講義の最終日に同行させていただき、鈴木真二教授と李家賢一教授、そして受講した学生の方々にお話を伺いました。



東京大学大学院 工学系研究科  
航空宇宙工学専攻  
鈴木真二教授

—— 今回の講義を開催した目的と意義を教えてください。

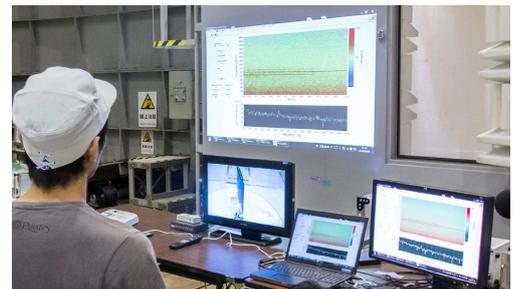
この講義は今年が2回目で、去年は一年間を通じて行う週一回の授業形式でしたが、今年は3日間の集中講義にしました。普段の大学の授業では、実際の航空業界の現場に触れる機会はなかなかありません。そこで、大学が行っている基礎研究とJAXAの研究が、最終的には企

業の製品開発につながるという流れを学生に理解してもらうため、大学、JAXA、企業の三者にお話をしてもらうということに大きな意味があります。

大学ではどうしても教室内での座学が中心になりますから、JAXAの研究開発の現場を直接体験できる機会はとても重要だと思います。

—— 航空宇宙工学科以外の学生も参加していますね。

航空機は、航空工学だけでなくいろいろなフィールドの人たちが協力しないと作られないものですから、航空宇宙工学科だけでなく他学科の人たちも航空機に興味を持ってもらえればいいと思っています。ですから、航空宇宙工学科以外の学生も参加できるようにしていますし、今回も受講した25名のうち半分くらいは機械や土木、精密、システムといった学科の学生です。航空機が好きな学生にはほとんど参加してほしいと思います。



2m×2m低速風洞内で翼型模型から発する騒音を下げるため、模型に部材の取り付けを行う学生たち(上)。設置した部品の効果で、模型から発生する騒音が低くなったことを波形モニターで確認した(下)。

—— 航空人材育成でJAXAへ期待することは何ですか。

従来から大学とJAXAは研究の分野で非常に深いつながりがあり、大学院生はこれまでもJAXAと関わる機会がありましたが、学部レベルでの教育上のつながりはあまりありませんでした。今回の講義は、学生がJAXAの研究活動や設備に触れて、見識を深められる良い機会でした。来年も、今回のような集中講義にしたいと考えているので、今後もこのような教育プログラムに協力していただきたいと考えています。具体的にどのようなプログラムにするかは、学生の感想を聞いて検討していきたいと思っています。

—— 今回受講した学生たちにはどのような印象をお持ちですか。

夏休み中にわざわざ参加するほどなので、皆学習意識が高く、興味を持って受講していたと思います。普段の大学での授業よりも積極的でしたし、これから専門的な勉強をする3年生は、貴重な経験からいろいろなものを吸収してくれたでしょう。

## ● 「航空技術イノベーション概論」とは



航空機構造の講義の様子。

東京大学航空宇宙工学科の主に大学3年生を対象とした講義で、今年は8月4日～6日の3日間に集中して行われました。講義の実施にはボーイング社の支援を受け、事務局は航空イノベーション総括寄付講座(寄付元：三菱重工業株式会社)が担当しています。

例えば「航空機開発」や「空気力学」「構造工

学」「回転翼」などのテーマに沿って、大学の先生や企業の開発者、JAXAの研究者がそれぞれ講義を行うのが特徴です。2日目からは東京大学の本郷キャンパスから場所をJAXA調布航空宇宙センターに変え、講義に加えJAXAの試験設備の見学やその設備を使った実習実験も行われました。



東京大学大学院 工学系研究科  
航空宇宙工学専攻  
李家賢一教授

—— 今回の講義について、感想をお聞かせください。

今年は主に3年生を対象にした3日間の集中講義でしたので、学生も集中して学べたと思います。

また今回の講義では、回転翼や空力弾性などのような普通の授業では触れる機会が少ないテーマについて話してもらえたことは貴重で、通常の大学での講義を補完する形になっています。

—— 航空分野の人材育成でJAXAに期待することは何ですか。

日本航空宇宙学会が主導している「航空教育支援フォーラム」を通じて、JAXAのCFD解析ツール<sup>\*</sup>がいくつかの大学で利用されていま

す。大学によって利用方法が異なりますが、東京大学ではこれを航空機概念設計の講義に役立てています。JAXAと大学をつなげる航空教育支援フォーラムによって、JAXAの最新設備や最新の解析ツールなど教育に利用できることを大学に知ってもらって、そうした教育に興味のある大学をJAXAにはできるだけ支援していっていただきたいです。

—— 今回受講した学生たちに期待することは？

3年生は専門学習を始めたばかりですので、メーカーやJAXAの人たちから話を聞いたり、最新設備に触れたりしたことは貴重な財産になったと思います。講義で言葉として聞くだけでなく、実際に目の当たりにすることができた経験は、今後の卒業論文などにも役立つことと思います。

## ● 「航空技術イノベーション概論」を受講して この講義を受講してみた感想を聞かせてください。

工学部  
機械工学科  
吉田周平さん



機械分野と航空分野で異なるアプローチ方法だとか文化の違いを知ることができました。また、機械工学科ではなじみのない複合材料の利点や課題が聞けて面白かったです。

工学系研究科  
航空宇宙工学専攻  
浜島静香さん



HTV-Rが再突入する際の圧力分布を解析した結果を3Dプリンターで出力する手法は、今までに見たことがなかったので興味深く感じました。

工学系研究科  
航空宇宙工学専攻  
東俊彦さん



これまで論文で何度かお名前を拝見してきた方々の話を実際に聞けたのは、とても貴重な経験でした。

工学系研究科  
航空宇宙工学専攻  
清水敦司さん



大きな風洞があることは知っていましたが、人が入れるほどの大きな風洞は大学にはないので驚きました。私も大きな風洞を使った実験してみたいです。今回は要素技術の講義が多かったのですが、せっかくJAXAに来ているので、それらの技術がどのように組み合わせられて大きなプロジェクトになっているのかも聞いてみたかったです。

理学部  
物理学科  
和田有希さん



航空機が好きということもありますが、航空の勉強ができるチャンスは今しかないと思って受講しました。メーカーは一つのテーマを大勢で開発していて、JAXAは一人がオールマイティーに何でも研究していて、メーカーとJAXAではかなり違う印象を受けました。

工学部  
材料工学科  
福原智さん



航空機の破壊の話は、材料工学科の破壊力学で習ったこととピッタリ合っていて、航空分野と関連があると感じました。また、これまでは強くて軽い材料が出来れば一番良いと考えていましたが、メーカーやJAXAの方の講義を聞いて、材料を作るプロセスやその評価も大切なことを知りました。

皆さん、インタビューにご協力をいただきありがとうございました。今回同行させていただいて、非常に魅力的でかつ実践的な教育プログラムになっていると感じました。この中から次世代の航空業界を担ってくれる人が現れることを期待しています。

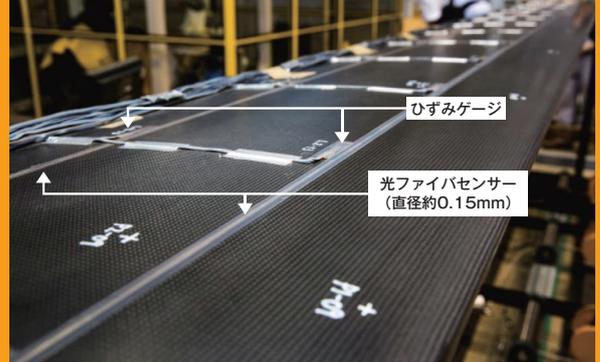
<sup>\*</sup>JAXAは、独自開発した高速かつ高効率なCFD解析ソフト「FaSTAR」を、教育支援ソフトとしてパソコンでも使えるように改良し、「航空教育支援フォーラム」を通じて、大学の教育現場へ提供している。

物体の“ひずみ”を1本の  
光ファイバーで検知

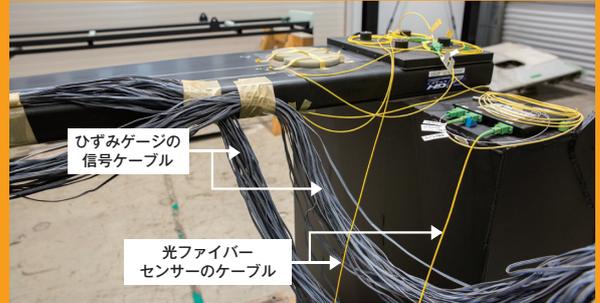
# 光ファイバーセンサー の研究

物体のひずみや損傷箇所を把握することは、航空機・宇宙機  
の分野に限らず、様々な分野においても必要、かつ重要なこと  
です。これまで、ひずみを計測するためには、多数の「ひずみゲ  
ージ」を計測対象に貼りつけるなどの必要があり、またゲージが  
取り付けられている点でしか計測できませんでした。

JAXAでは、光ファイバーをセンサーに応用し、1本の光ファイ  
バーでのひずみ計測を可能とする光ファイバーセンサーの研究  
に取り組んでいます。



試験用の翼に配置された光ファイバーセンサー。ファイバーは翼表面に直線状に接着固定され、テープによって保護(必ずしも必要ではない)されている。左側へ伸びているのは従来のひずみゲージ。



ひずみゲージの計測に必要なケーブルと光ファイバーセンサー。光ファイバーセンサーなら、一本の光ファイバーでひずみの分布を計測できる。

## 光ファイバーは センサーとしても利用できる

光ファイバーは、元々、通信分野への利用を前提に開発されたものですが、光ファイバーの特性がセンサーとして利用できるのではないかと考えられ、1970年代から多くの研究がなされてきました。さらに、ファイバー・ブラッグ・グレーティング(FBG)と呼ばれる周期的に屈折率の変わる箇所を書き込む技術が1980年代後半に生まれ、光ファイバーセンサーの一つとして現在使われるようになりました。

FBGが配置された光ファイバーに光を通すと、FBGのある箇所で特定の波長の光が反射し、それ以外の光は透過する、一種のフィルターとして機能します。ファイバーに力が掛かるとファイバーが伸縮し、反射する光の波長も変化します。反射光の波長を調べることで、光ファイバーの長さ方向に対する歪みや温度変化が分かります。そして、FBGを複数箇所に配

置することで、光ファイバー上の複数の点でひずみを計測できるのです。

従来のひずみ計測で使用されているセンサー「ひずみゲージ」は、ゲージを取り付けた点でしかひずみを計測できませんでした。またゲージごとにデータ送信用ケーブルが必要で、配線が非常に煩雑になります。ひずみの計測点を増やそうとすると、それだけケーブルが増えてしまうのです。光ファイバーセンサーであれば、1本の光ファイバーを配線するだけで、線上の多くの点のひずみ計測が可能になります。

すでに、土木・建築・エネルギーなどの分野では、光ファイバーセンサーが実用化されています。油田では、井戸の掘削時に内部の温度を計測するために光ファイバーセンサーを利用している例があります。また、パイプラインに沿って光ファイバーを配置することで、パイプラインの破損や分断の検知に利用する例もあります。

## 航空機の状態を 1本の光ファイバーで把握する

JAXAでは、位置基準となるミラーからの反射光とFBG計測部からの反射光の干渉により発生する光強度の周期的変化に着目して計測場所を特定する「光周波数領域反射測定(OFDR)」技術で、検知領域内のひずみ分布を計測する研究に取り組んでいます。OFDR技術の概念自体は以前から提案されていましたが、JAXAでは独自のデータ処理アルゴリズムによ

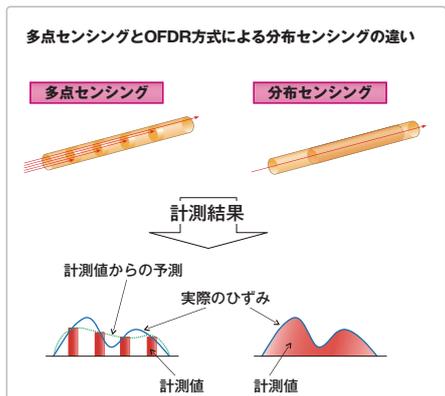
り1mm以下の空間分解能を達成し、現在実験室レベルではあるものの、翼全体に発生するひずみを高い精密さで検出できるまでになっています。また、一本の光ファイバーセンサーで、ひずみと温度を同時に検出する実験にも成功しています。

光ファイバーセンサーは、風洞試験で利用すれば、模型の変形をより精密に計測できると考えられています。近い将来、航空機の製造段階で行われる静荷重試験などで利用されることになるかもしれません。さらに、宇宙分野では液体水素の燃料タンクの漏洩検知などへの応用も検討しています。

「構造ヘルスマモニタリング」と呼んでいます。航空機の翼や胴体の歪みや破損を、光ファイバーでリアルタイムに把握できるようになることを目指して研究を進めています。そうなれば、事故も減らせますし、メンテナンスの回数も劇的に減らせるでしょう。さらにアクチュエーター技術などを加えて構造の機能化を行うことにより、材料の持つ物性や構造の持つ特性の限界を超えて、航空機の性能を飛行中さらに向上させる能力を与えることができるでしょう」と構造技術研究グループ井川寛隆主任研究員は夢を語ります。

構造技術研究グループ  
構造機能化セクション 主任研究員

**井川寛隆**



同じ光ファイバーセンサーでも、分布センシングなら検知領域全体を細かく測定できるので、精密な測定が可能になる。

# ベルリンで IFARメンバーとミーティング ～JAXA航空本部の国際連携最新レポート～



航空本部事業推進部国際担当

中曽根温子

JAXAの持つ技術をさらに磨き社会へと還元するため、海外の公的研究機関・大学・企業との共同研究や国際機関への参加などの国際的な協力活動を活発に行っています。今年5月に開催されたベルリンエアショー2014(2014年5月20～25日)では、多数の航空関係機関が集結したことから、JAXAが副議長を務める国際航空研究フォーラム(IFAR)の会合が開催されました。また、IFARメンバーの中でも重要な協力パートナーであるアメリカ航空宇宙局(NASA)、ドイツ航空宇宙センター(DLR)とミーティングを行いました。今回はその成果を通して、JAXA航空本部の国際連携の最新状況をご紹介します。

## ■ATM分野でIFARへの協力を開始

IFAR(International Forum for Aviation Research)は、公的航空研究開発機関によって構成される世界初の国際組織で、各国政府や国際機関などへの協力・助言・提言を目的としています。今回、加盟24機関のうちベルリンエアショーに集った11機関が出席して、IFARの協力の進捗状況や運営方針を話し合う会合を開催しました。今回の大きなステップは、航空交通管理(ATM: Air Traffic Management)分野での協力開始です。IFAR設立から5年、技術分野では既に化石燃料に替わる代替燃料が環境へ与える影響の研究について協力を行っており、ATM分野での協力が第2弾の取り組みとなります。ベルリンではATMワーキング・グループに参加する機関による最初の会合が開催され、JAXAのATM分野の研究者も参加し、各機関からIFARの活動への期待が表明されました。アジア太平洋地域をはじめとして世界各地で大幅な航空輸送量の増加が見込まれている中、次世代航空交通管理システムの実用化に向けて欧米や日本で活発な研究開発が行われています。IFARは研究機関のグローバルなネットワークを通して各地域が有する技術と問題を結び、世界の航空交通が直面する課題のより早く効率的な解決に貢献したいと考えます。



ドイツ・ブランデンブルグ門にて、今回の会合参加機関と。JAXAは2013年にIFARの副議長に就任、議長のNASAとともにIFARを牽引する役割を担う。

## ■NASAとATMに関する相互協力を合意

NASAとの会合では、今後ATM分野で研究協力を実施する合意文書に調印しました。NASAの航空研究ミッション本部は、JAXA航空本部にとって最も重要で親密なパートナーです。これまでも航空機の騒音低減技術や超音速機技術の分野で共同研究を進めてきましたが、環境と安全の分野でより戦略的に研究協力を推し進めるべく協議を重ねた結果、ATM分野での協力開始への合意に至りました。今後5年間をかけて、JAXAが持つ騒音軽減運航技術とNASAの空港スケジュール管理技術や、JAXA・NASAの災害時の航空機の運航技術をベースとして、NASAとJAXAの相互利益に基づく協力を進めていく予定です。また、NASAはIFARの議長、JAXAは副議長であり、IFARの運営についても緊密に連携・協力していく方針を確認しました。

## ■DLRとの連携深化を確認

ドイツのDLRもまた、JAXA航空本部と長い間協力関係を築いている重要な海外パートナーの一つで、2001年からフランスのONERA(フランス国立航空宇宙研究所)も含めた3機関による共同研究の枠組みを確立し、さまざまな共同研究を実施しています。今回は航空部門のトップ同士での会合を開催し、JAXAとDLRの協力関係をより戦略的に深化させていくことを確認しました。

DLRには航空本部の職員が度々在外研究員として派遣されており、人材交流を通じて研究現場同士の関係が深まっています。今回のドイツ出張では、JAXA職員が複合材料分野で在外研究をしているDLRシュトゥットガルトを訪問しました。そこではDLRの職員と密にコミュニケーションをとりながら双方に有益な研究開発が進められています。こうした人材の交流は相互理解と信頼関係の土壌となり、新しい研究協力へと発展する可能性を高めています。

また、DLRシュトゥットガルトでは、燃料電池とモーターにより推進する実証機の話聞くことができました。こちらも以前、JAXA航空本部の研究者が在外研修を行っていた研究室です。ベルリンエアショーでは、実際にこの実証機のデモフライトを見ることができ、地上からはほとんど音が聞こえない静粛性を備えた優雅な飛行の姿が印象的でした。



JAXAとDLR、双方の航空分野のトップが顔を合わせたミーティング。



DLRの電動推進実証機(DLR-H2 Antares)。

国境を越えて行き来する航空機の開発では、技術開発の国際競争と、非競争分野の技術の底上げや環境問題対策、基準の策定などでの国際協力が共に重要です。航空本部では今後も海外パートナーとの信頼関係を大切にしながら戦略的な国際協力を推進していきます。

# 「子どもたちの時代には、 2時間でアメリカに 行ける世界にしたい」

推進システム研究グループ 極超音速技術セクション  
主任研究員  
**小島孝之**

1973年神奈川県生まれ。早稲田大学機械工学科、東京大学大学院航空宇宙工学科、宇宙科学研究所COE研究員を経て2003年航空宇宙技術研究所(現JAXA)入所。2010年10月～2011年9月米国メリーランド大学客員研究員。2012年10月～2014年6月事業推進部技術研究企画室。



研究に取り組んでいる極超音速旅客機の模型を前に説明する小島主任研究員。

2回目となる今回は、マッハ5で飛行する極超音速旅客機を研究している小島孝之主任研究員です。極超高速で飛行する夢のような航空機の実現を目指す研究や、研究者を目指したきっかけなどについて話を聞きました。

——JAXAが研究する極超音速旅客機とはどのようなものですか。

東京からロサンゼルスまで太平洋を2時間で横断できる旅客機です。現在の構想としては、全長80メートル程度100人乗りで、音速の5倍、マッハ5のスピードで飛びます。

極超音速旅客機は速く飛ぶためにこれまでの飛行機とは違うところがあります。通常の飛行機はジェット燃料を使って飛びますが、JAXAでは、ロケットに使うような液体水素を燃料に使う極超音速機の研究をしています。マッハ5という高速で飛ぶと、空気の圧縮によりエンジンに取り込む空気の温度が1000℃にもなります。この空気をマイナス250℃の液体水素で冷やすことによりエンジンが効率よく作動できるようになります。

高温になると金属は、単純計算では1000℃で1%程度伸びますから、80メートルの機体だと80センチも伸びる計算になります。機体が伸びても問題が起きないような構造にするか、熱による変形が少ない材料にするか、変形してはならない部分は何らかの方法で熱を逃がすか遮断するかといった熱の管理も問題になります。

また、空気力学的な問題としては、音速を超えて飛行する際に発生する衝撃波があります。速度が速くなるほど衝撃波は強くなり、それに伴ってエンジンの効率も落ちてしまうので、可変インテーク<sup>\*</sup>といった衝撃波の形を上手にコントロールしてエンジンの効率を保つ技術も

重要になってきます。私は特に空力と熱に関する設計を担当しています。

——どのようなきっかけで研究者を目指し、どのような経緯でこの研究に関わるようになったのですか。

小学校6年生のときに、マンションの屋上から双眼鏡でぼやっとしたハレー彗星を見て感動したことが、宇宙への憧れを持つきっかけでした。中学・高校では地学部に入って、山の頂上から星を見て宇宙にいるような気分を味わっていました。その頃から、星や宇宙のことを仕事にしたいと考えるようになって。

大学院のときには、相模原の宇宙科学研究所(現在のJAXA宇宙科学研究所)で再使用型宇宙輸送機に利用する極超音速エンジンの研究に関わりました。それ以来、15年ぐらい液体水素を使った極超音速エンジンの研究に携わっています。

その間、メリーランド大学に1年間の留学もさせてもらいました。新しい概念のインテークを、今研究しているエンジンに適用できないかを調べるのが目的でしたが、アメリカの最新情報に触れることもできました。日本の方が進んでいる要素技術もありますが、全体をシステムとしてまとめる能力に関しては日米でだいぶ違います。アメリカは多くの人材を投入するので、開発スピードも早いですね。

——現在の夢はなんですか。

大学院に入った頃には、宇宙に行く飛行機を自分で作って、自分で操縦して宇宙へ行くという夢がありましたが、年を重ねた今では自分が操縦して宇宙まで飛ぶということはちょっと無理かなと思っています。しかし、やはり今まで世の中に存在しなかった新しい航空機を作りあげたいという気持ちはあります。アメリカへ2時間で行けるようになれば日帰りも可能になりますし、生活も変わってくる。ライフスタイルのイノベーションを起こして、人類に貢献することを夢見ています。

——航空宇宙分野を目指す後輩たちへのメッセージをお願いします。

航空宇宙分野は、とても複雑なシステムであり、複数の分野にまたがる総合工学です。概算になりますが、部品点数をとってみても自動車に比べてロケットは10倍、飛行機はさらにその10倍の部品点数になります。部品点数だけでなく、空力や熱、構造などの工学的側面、さらにビジネスや法律など多岐にわたる課題が出てきます。裾野も広く波及効果も大きいことが特徴です。そうした意味では、どんな経験でも役立つと言えます。勉強だけでなく、趣味や好きなこと、何でもいろいろなことを経験し、引き出しをいっぱい持っていることが重要だと思います。

<sup>\*</sup>可変インテーク 速度や高度などの飛行状況に応じて、最適な形状に変化するインテーク(空気取り入れ口)。



## 「電気信号で航空機を操縦する “フライ・バイ・ワイヤ”とは」

従来の航空機では、パイロットが操縦桿やペダルを操作した動きをケーブル(索)や棒状のロッドなど機械的な方式で伝えていました。しかし近年では、機体を制御するための動きを電気信号で伝える「フライ・バイ・ワイヤ」(FBW)という方式が普及し、電線(ワイヤー)によってパイロットの操縦を動く翼(動翼)に伝えています。

### 進化した操縦機構～フライ・バイ・ワイヤ

航空機が飛行する際、操縦桿やペダルなどの操縦装置の動きを、主翼や尾翼に取り付けられたエルロンやラダーといった動翼に伝えることで機体を制御します。小型機では、操縦装置と動翼をケーブルやロッドで機械的に繋ぎ、パイロットの動きをそのまま力として伝えていました。しかし、この方法では装置が重くなり、機体が大きくなるほどパイロットの負担も増えます。また、ケーブルやロッドを搭

載する空間も必要です。そこで大型機では、操縦装置の動きを電気信号に変換し、油圧装置によって動翼を動かす油圧システムが使われるようになりました。ポンプによって油圧パイプに油を送り込み、その力でアクチュエーターを動かす油圧システムは、パイロットの負担も少なく、配管の自由度も高かったからです。

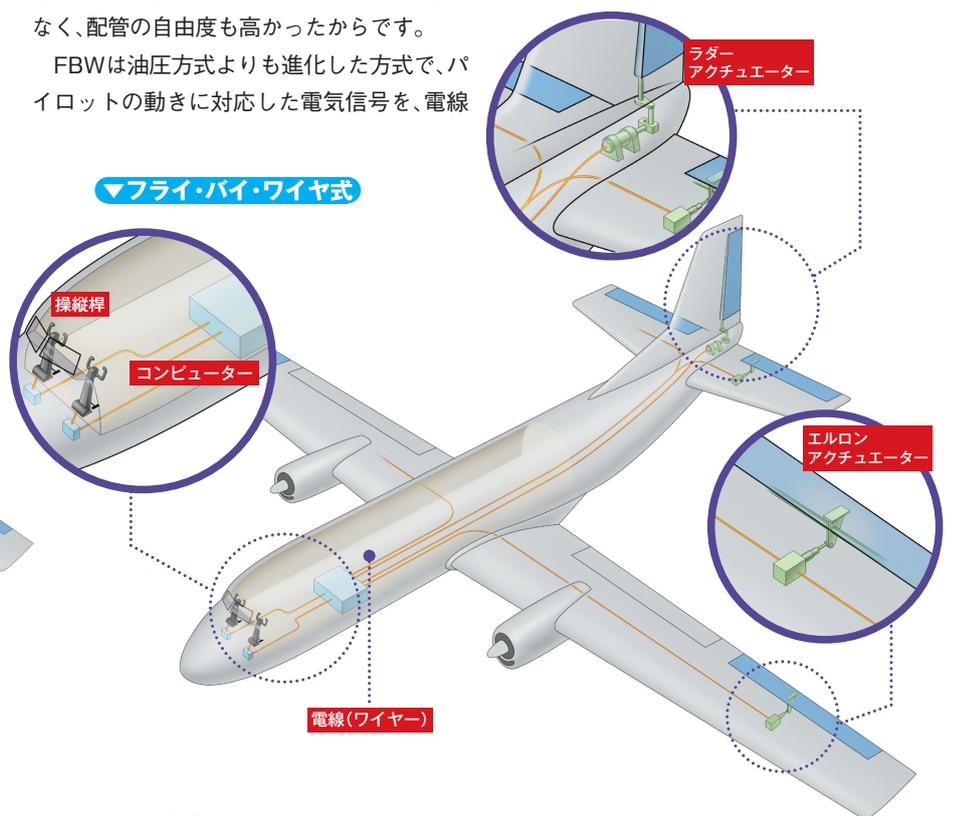
FBWは油圧方式よりも進化した方式で、パイロットの動きに対応した電気信号を、電線

(ワイヤー)を通じて動翼を動かすアクチュエーターに伝えます。電気信号をワイヤーで伝えることで、自由な配線が可能となって設計の自由度が高くなりました。また、重量も軽く、整備工程を減らせるというメリットも生まれました。

#### ▼機械式



#### ▼フライ・バイ・ワイヤ式



### FBWが可能にするインフライト・シミュレーション



JAXAの実験用航空機「MuPAL-α」には、機械式操縦装置とFBWの二つが搭載されており、スイッチ一つで簡単に切り替えることができるようになっています。MuPAL-αのFBWでは、コンピューターにさまざまな航空機の飛行特性データを組み込むことで、別の航空機の操縦を模擬できる「インフライト・シ

ミュレーション」を可能としています。インフライト・シミュレーションにより、計画中の航空機が飛行する前に操縦を体験したり、あえて航空機が故障した状態を再現して、故障が発生しても飛行を継続できる制御プログラムの研究に利用したりしています。

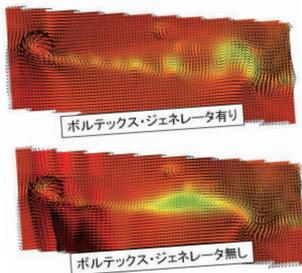
# Flight Path Topics

## PIV計測データを活用したデバイス配置最適化技術開発のための風洞試験を実施

航空機の翼にボルテックス・ジェネレータ<sup>\*1</sup>などのデバイスを配置する場合、通常は設計時に風洞試験を繰り返し、空力特性のもっとも良い配置を導き出します。JAXAでは、PIV<sup>\*2</sup>計測によって得られる高密度で詳細な計測データを活用することで、これまでよりも短期間で確実に空力特性の良いデバイス配置を導き出せる手法を研究開発しています。

2014年6月に2m×2m遷音速風洞を使ったPIV計測試験で、ボルテックス・ジェネレータの有無や配置によって発生する気流の違いを明確に捉えることができました。今後、PIV計測で取得されたデータを用いて、効果の高い配置を導き出す手法の研究開発を進める予定です。

※1 航空機の翼等に取り付けて気流中に渦を発生させ、翼表面の流れを制御するための突起物です。  
 ※2 気流中にレーザとなる粒子を混入させ、レーザ光等の照明を使って撮影した粒子の画像から粒子の移動量を解析して、気流の速度を計測する手法です。  
 (Flight Path No.5 参照)



気流速度計測結果(速度の速い順に、赤色、黄色、黄緑色で示す)  
 ボルテックス・ジェネレータが無い場合(下)に見られる気流の遅いところ(黄色、黄緑色)が、ボルテックス・ジェネレータを付けた場合(上)では小さくなっている。

## 成田空港周辺で騒音計測を実施

7月1日から11日まで、成田空港周辺の皆さまにご協力いただき、成田空港に着陸する航空機の騒音計測を行いました。計測は、2013年11月、2014年1月、3月に続き4回目となり、これで四季それぞれの気象条件における騒音データが取得できました。

将来、航空交通量の拡大が予測される中、空港周辺への騒音影響も解決しなければならない問題です。DREAMSプロジェクトでは、航空交通量が拡大しても騒音影響を受ける範囲が拡大しないよう、気象条件によって騒音がどのように拡散するかを予測し、地上に騒音が広がらないような進入経路の最適化などの低騒音運航技術に取り組んでいます。これまでの計測結果は、気象条件が騒音の伝搬に及ぼす影響を考慮可能な「騒音予測モデル」の研究に利用していきます。



着陸時の騒音を計測の様子

## D-SEND#2の2回目試験、実施できず

スウェーデンのエスレンジ実験場で、2回目試験を予定していた低ソニックブーム設計概念実証プロジェクト第2フェーズ試験(D-SEND#2)は、試験期間内に気象条件が整わなかったため、試験を実施することができませんでした。

2013年8月16日に実施した1回目試験では、試験機が気球から分離後、計測地点の約12km手前で予定飛行経路から外れたため、想定していた飛行状態でのソニックブームを計測することができませんでした。JAXAは調査・対策チームを設置し、原因の特定及びその対策に取り組んできました。

2回目試験に向け、2014年6月中旬から現地準備作業を開始。試験期間に入ってから、天気、地上風、そして気球の予測軌道など試験可能な条件が整うのを待っていました。ようやく条件が整い、現地時間8月23日、8月26日の試験実施に向け準備作業を開始するも、途中で天候が悪化。やむなく試験中止の判断をしました。

今後JAXAでは、今回の状況も踏まえてD-SEND#2の試験計画を再検討していきます。



試験機の点検



D-SEND#2のリハーサル風景

